

УДК 621.311.13

## ТЕОРЕТИЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ МЕТОДІВ РЕАЛІЗАЦІЇ ВИМОГ НОРМАТИВНОЇ БАЗИ З ЯКОСТІ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ

**В. М. ВАНЬКО**, доктор технічних наук, професор,

*E-mail:* vvm@lp.edu.ua

**Н. М. КЛЕПАЧ**, аспірант

*E-mail:* nataliafeshchuk@mail.ru

**Національний університет “Львівська політехніка”**

*Анотація.* У наш час важко уявити собі своє життя без електрики. У квартирі, замиському будинку, офісі від наявності та якості електроенергії залежить все. На жаль, коли електроенергію стабільно подається в наші будинки і квартири, це ще не означає, що розрахункові параметри електроенергії саме такі, які необхідні для живлення побутової техніки та різних електроприладів, від яких безпосередньо залежить якість нашого життя, а іноді і саме життя. У даній роботі проведено аналіз проблематики дослідження та контролю якості електроенергії у мережах постачання споживачів. Поставлено головні задачі, які полягають у встановленні причин погіршення якості електроенергії та визначенні місця появи негативного процесу у мережі. Виходячи із класифікації видів навантажень та споживання ними електроенергії, запропоновані розвиток методики виконання вимірювань показників якості електроенергії та нові показники, що дозволять отримати додаткову інформацію для розв'язання вказаних задач.

**Ключові слова:** якість, електроенергія, вектори якості, частотні смуги, показники якості, дози флікера

**Актуальність.** Для моніторингу якості ЕЕ у близьких до встановлених режимах функціонування мереж загального призначення основним першоджерелом є крива  $f_U(t)$ . Відповідно до цього пропонується деякий узагальнений підхід, який ґрунтується на опрацюванні власне даної вимірювальної інформації, що стосується у подальшому і реалізації структури ЗВТ.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** За застосування ДВВП (дискретного вейвлет перетворення) забезпечується фіксація даних про часові зміни спектру неперервної  $f_U(t)$ , а також достовірної інформації стосовно

досліджуваної кривої у випадках проходження в мережі випадкових процесів, що призводять до порушення періодичності і стаціонарності сигналів.

Водночас, аналогічно до вимог [1-4], пропонується застосовувати відомі ПЯ ЕЕ:  $\sigma_{\text{вс}}$  та  $\sigma_{\text{пр}}$ , але дещо в іншій інтерпретації. Весь інтервал часу контролю якості ЕЕ ( $t_l$  або  $t_s$ ) розподіляється на однакові інтервали  $t_B$ , упродовж яких визначаються вектори-рядки контролю якості

$$\begin{aligned} B_p(\sigma_{\text{вс}})_{tB1} &= |(\sigma_{\text{вс}1})_{tB1} \dots (\sigma_{\text{вс}j})_{tB1} \dots (\sigma_{\text{вс}J})_{tB1}| \\ &\dots \dots \dots \\ B_p(\sigma_{\text{вс}})_{tBm} &= |(\sigma_{\text{вс}1})_{tBm} \dots (\sigma_{\text{вс}j})_{tBm} \dots (\sigma_{\text{вс}J})_{tBm}| \\ &\dots \dots \dots \\ B_p(\sigma_{\text{вс}})_{tBM} &= |(\sigma_{\text{вс}1})_{tBM} \dots (\sigma_{\text{вс}j})_{tBM} \dots (\sigma_{\text{вс}J})_{tBM}|, \end{aligned} \quad (2.1)$$

де  $\sigma_{\text{вс}j}$  – j-е значення даного ПЯ ЕЕ, що стосується j-го діапазону частотного спектру аналізу  $f_U(t)$ , причому  $t_s = J \cdot t_B$  і  $t_l = M \cdot t_s$ .

Паралельно так само для кожного tB шукають  $\sigma_{\text{пр}}$  та формують вектори-рядки якості

$$\begin{aligned} B_p(\sigma_{\text{пр}})_{tB1} &= |(\sigma_{\text{пр}1})_{tB1} \dots (\sigma_{\text{пр}j})_{tB1} \dots (\sigma_{\text{пр}J})_{tB1}| \\ &\dots \dots \dots \\ B_p(\sigma_{\text{пр}})_{tBm} &= |(\sigma_{\text{пр}1})_{tBm} \dots (\sigma_{\text{пр}j})_{tBm} \dots (\sigma_{\text{пр}J})_{tBm}| \\ &\dots \dots \dots \\ B_p(\sigma_{\text{пр}})_{tBM} &= |(\sigma_{\text{пр}1})_{tBM} \dots (\sigma_{\text{пр}j})_{tBM} \dots (\sigma_{\text{пр}J})_{tBM}|, \end{aligned} \quad (2.2)$$

**Мета дослідження.** З метою аналізу якості ЕЕ отримані значення даних ПЯ  $(\sigma_{\text{вс}j})_{tBm}$  і  $(\sigma_{\text{пр}j})_{tBm}$  порівнюють із відповідними гранично допустимими значеннями  $(\sigma_{\text{вс}})_{\text{зрпд}}$  і  $(\sigma_{\text{пр}})_{\text{зрпд}}$ :

$$\left[ \begin{array}{l} (\sigma_{\text{вс}j})_{tBm} \rightarrow \text{var} \\ (\sigma_{\text{вс}})_{\text{зрпд}} \end{array} \right] \Rightarrow \left[ \begin{array}{l} \text{норма, якщо } (\sigma_{\text{вс}j})_{tBm} + k_z \cdot \Delta((\sigma_{\text{вс}})_{tB}) - (\sigma_{\text{вс}})_{\text{зрпд}} \leq 0 \\ \text{порушення якщо } (\sigma_{\text{вс}j})_{tBm} + k_z \cdot \Delta((\sigma_{\text{вс}})_{tB}) - (\sigma_{\text{вс}})_{\text{зрпд}} > 0 \end{array} \right], \quad (2.3)$$

$$\left[ \begin{array}{l} (\sigma_{\text{пр}j})_{tBm} \rightarrow \text{var} \\ (\sigma_{\text{пр}})_{\text{зрпд}} \end{array} \right] \Rightarrow \left[ \begin{array}{l} \text{норма, якщо } (\sigma_{\text{пр}j})_{tBm} + k_z \cdot \Delta((\sigma_{\text{пр}})_{tB}) - (\sigma_{\text{пр}})_{\text{зрпд}} \leq 0 \\ \text{порушення якщо } (\sigma_{\text{пр}j})_{tBm} + k_z \cdot \Delta((\sigma_{\text{пр}})_{tB}) - (\sigma_{\text{пр}})_{\text{зрпд}} > 0 \end{array} \right], \quad (2.4)$$

із врахуванням граничних значень абсолютних похибок визначення даних ПЯ  $\Delta((\sigma_{\epsilon})_{iB})$  і  $\Delta((\sigma_p)_{iB})$  та коефіцієнта метрологічного запасу, рівного  $k_{\gamma} = 2 \dots 3$ .

Варто зазначити, що характер зміни значень даних ПЯ ЕЕ у векторах (2.1) та (2.2) буде схожим, оскільки вирази для їх розрахунків можна вважати спорідненими за суттю.

Між тим вираз (2.1) трансформується до набору векторів-стовбців якості

$$B_{cm}(\sigma_{\epsilon})_{iB1} = \begin{pmatrix} (\sigma_{\epsilon 1})_{iB1} \\ \dots \\ (\sigma_{\epsilon 1})_{iBm} \\ \dots \\ (\sigma_{\epsilon 1})_{iBm} \end{pmatrix} \dots B_{cm}(\sigma_{\epsilon})_{iBj} = \begin{pmatrix} (\sigma_{\epsilon j})_{iB1} \\ \dots \\ (\sigma_{\epsilon j})_{iBm} \\ \dots \\ (\sigma_{\epsilon j})_{iBm} \end{pmatrix} \dots B_{cm}(\sigma_{\epsilon})_{iBJ} = \begin{pmatrix} (\sigma_{\epsilon J})_{iB1} \\ \dots \\ (\sigma_{\epsilon J})_{iBm} \\ \dots \\ (\sigma_{\epsilon J})_{iBm} \end{pmatrix}, \quad (2.5)$$

кожен з яких відтворює зміну в часі частини напруги мережі, що стосується відповідно 1-го, ..., j-го, ..., J-го діапазонів частотного спектру аналізу  $f_U(t)$ .

А вираз (2.2) перетворюється у набір векторів-стовбців якості

$$B_{cm}(\sigma_p)_{iB1} = \begin{pmatrix} (\sigma_{p1})_{iB1} \\ \dots \\ (\sigma_{p1})_{iBm} \\ \dots \\ (\sigma_{p1})_{iBm} \end{pmatrix} \dots B_{cm}(\sigma_p)_{iBj} = \begin{pmatrix} (\sigma_{pj})_{iB1} \\ \dots \\ (\sigma_{pj})_{iBm} \\ \dots \\ (\sigma_{pj})_{iBm} \end{pmatrix} \dots B_{cm}(\sigma_p)_{iBJ} = \begin{pmatrix} (\sigma_{pJ})_{iB1} \\ \dots \\ (\sigma_{pJ})_{iBm} \\ \dots \\ (\sigma_{pJ})_{iBm} \end{pmatrix} \quad (2.6)$$

аналогічного змісту даних щодо змін  $(\sigma_{pj})_{iBm}$ .

Оскільки у даному випадку об'єм інформації є достатньо великим, то доцільно проводити операцію порогоування стосовно (2.5) і (2.6) шляхом відбракування значень, які знаходяться нижче певних порогових значень  $(\sigma_{\epsilon})_{\text{нор}}$  і  $(\sigma_p)_{\text{нор}}$ , заданих попередньо. Разом з тим оператором можуть у разі потреби змінюватись ці порогові значення. Наприклад, для j-m-го ПЯ  $(\sigma_{\epsilon j})_{iBm}$  така операція полягає у виконанні виразу

$$\begin{bmatrix} (\sigma_{\epsilon j})_{iBm} \rightarrow \text{var} \\ (\sigma_{\epsilon})_{\text{нор}} \rightarrow \text{var} \end{bmatrix} = \begin{cases} (\sigma_{\epsilon j})_{iBm}, & \text{якщо } (\sigma_{\epsilon j})_{iBm} + k_z \cdot \Delta(\sigma_{\epsilon})_{iB} - (\sigma_{\epsilon})_{\text{нор}} > 0 \\ 0, & \text{якщо } (\sigma_{\epsilon j})_{iBm} + k_z \cdot \Delta(\sigma_{\epsilon})_{iB} - (\sigma_{\epsilon})_{\text{нор}} \leq 0 \end{cases}, \quad (2.7)$$

а щодо  $j$ m-го ПЯ  $(\sigma_{pj})_{iBm}$

$$\left[ \begin{array}{l} (\sigma_{pj})_{iBm} \rightarrow \text{var} \\ (\sigma_p)_{\text{нор}} \rightarrow \text{var} \end{array} \right] = \begin{cases} (\sigma_{pj})_{iBm}, \text{ якщо } (\sigma_{pj})_{iBm} + k_z \cdot \Delta(\sigma_p)_{iB} - (\sigma_p)_{\text{нор}} > 0 \\ 0, \text{ якщо } (\sigma_{pj})_{iBm} + k_z \cdot \Delta(\sigma_p)_{iB} - (\sigma_p)_{\text{нор}} \leq 0 \end{cases} \quad (2.8)$$

Це дозволить залишити лише критичні поточні значення даних ПЯ ЕЕ та спростити аналіз повільних коливань і збурень напруги як ситуацій із ймовірних погіршень якості ЕЕ.

**Матеріали і методи дослідження.** Завдяки проведеному контролю  $f_U(t)$  виявляють зміни у часі розподілених по частотних смугах ПЯ ЕЕ, які вважаються аналогічними до тих, що описуються коротко- і довготривалими дозами флікера [5]. Тобто, вирази (2.7) і (2.8) дозволяють виявити ділянки найсуттєвіших змін  $(\sigma_{ecj})_{iBm}$  і  $(\sigma_{pj})_{iBm}$ , встановити у яких частотних діапазонах вони відбуваються, а також у подальшому виявляти можливі причини таких погіршень якості. Це можуть бути порушення графіків споживання ЕЕ деякими споживачами або вплив еквівалентного комплексного опору ліній електропередач або схем розподільчих мереж.

Відповідно до даних [5, 6] підключення споживачами до мережі ЕЕ різноманітного устаткування призводить до появи у кривій  $f_U(t)$  спектрів двох видів:

- із набором традиційних гармонічних складових із частотами, цілочисленно кратними до основної промислової (перелік таких гармонік п може сягати до 100);
- таких, що містять гармонічні компоненти з частотами, некрatними до промислової (так звані інтергармоніки).

Пропонується дещо модифікувати відомі ПЯ ЕЕ, що стосуються групи НСН, використовуючи той же розподіл всього інтервалу моніторингу якості ЕЕ  $t_H$  на сукупність інтервалів вимірювання  $t_B$ . Упродовж кожного з останніх обчислюють вектори-рядки контролю якості

$$\begin{aligned}
 B_p(HC)_{tB1} &= |(k_{hs})_{tB1} (k_1)_{tB1} \dots (k_r)_{tB1} \dots (k_R)_{tB1}| \\
 &\dots\dots\dots \\
 B_p(HC)_{tBv} &= |(k_{hs})_{tBv} (k_1)_{tBv} \dots (k_r)_{tBv} \dots (k_R)_{tBv}| \\
 &\dots\dots\dots \\
 B_p(HC)_{tBV} &= |(k_{hs})_{tBV} (k_1)_{tBV} \dots (k_r)_{tBV} \dots (k_R)_{tBV}|, \quad (2.9)
 \end{aligned}$$

де  $(k_r)_{tBv}$  – коефіцієнт r-го частотного діапазону спотворення кривої  $f_U(t)$ , вимірний протягом v-го tB; r змінюється від 1-го R-го діапазонів, причому ширина кожного діапазону встановлена певним чином і буде визначена у наступному параграфі даної роботи;  $(k_{hs})_{tBv}$  – коефіцієнт спотворення синусоїдності кривої напруги, вимірний протягом v-го tB. А інтервал моніторингу якості ЕЕ  $t_H = V \cdot t_B$ .

При цьому кожен наведений  $(k_r)_{tBv}$  визначається відповідно до затвердженої методології [1-3] як

$$(k_r)_{tBv} = \frac{(U_r)_{ск}}{(U_{ном})_{ск}} \cdot 100\%, \quad (2.10)$$

де  $(U_r)_{ск}$  – СКЗ напруги r-го спектрального діапазону як частини  $f_U(t)$ .

З метою аналізу впливу нелінійних спотворень напруги мережі на якість ЕЕ спочатку здійснюють порівняння кожного ПЯ  $(k_r)_{tBv}$  із відповідним гранично допустимим значенням  $(k_r)_{зд}$ , а також проводять операцію пороговування отриманих даних по відношенню до заданого оператором  $(k_r)_{нор}$ :

$$\left[ \begin{array}{l} (k_r)_{tBv} \rightarrow \text{var} \\ (k_r)_{зд} \\ (k_r)_{нор} \rightarrow \text{var} \end{array} \right] \Rightarrow \left[ \begin{array}{l} \text{порушення якщо } (k_r)_{tBv} + k_z \cdot \Delta((k_r)_{tB}) - (k_r)_{зд} > 0 \\ \text{норма, якщо } (k_r)_{tBv} + k_z \cdot \Delta((k_r)_{tB}) - (k_r)_{зд} \leq 0 \\ \text{відхилення якщо } (k_r)_{tBv} + k_z \cdot \Delta((k_r)_{tB}) - (k_r)_{нор} \leq 0 \end{array} \right]. \quad (2.11)$$

**Результати дослідження та їх обговорення.** Таким чином, найперше виявляють грубі порушення вимог чинних нормативних документів («порушення»), а потім видаляють неважливу інформацію («відхилення»).

Надалі аналогічним чином досліджують кожен ПЯ  $(k_{ns})_{iBv}$  ЕЕ порівняно із відповідним гранично допустимим  $(k_{ns})_{zpd}$  та пороговим  $(k_r)_{nop}$  значеннями:

$$\left[ \begin{array}{l} (k_{ns})_{iBv} \rightarrow \text{var} \\ (k_{ns})_{zpd} \\ (k_{ns})_{nop} \rightarrow \text{var} \end{array} \right] \Rightarrow \left[ \begin{array}{l} \text{порушення якщо } (k_{ns})_{iBv} + k_z \cdot \Delta((k_{ns})_{iB}) - (k_{ns})_{zpd} > 0 \\ \text{норма, якщо } (k_{ns})_{iBv} + k_z \cdot \Delta((k_{ns})_{iB}) - (k_{ns})_{zpd} \leq 0 \\ \text{відхилення якщо } (k_{ns})_{iBv} + k_z \cdot \Delta((k_{ns})_{iB}) - (k_{ns})_{nop} \leq 0 \end{array} \right]. \quad (2.12)$$

Для пошуку причин «порушень» якості ЕЕ за групою НСН доцільно детальніше проаналізувати отримані дані.

Оскільки навіть зменшена множина векторів-рядків якості (2.9) містить додаткову корисну інформацію, то спочатку трансформуємо більшу частину даного виразу, як і попередньому параграфі, у набір векторів-стовбців якості, які характеризують спектральний розподіл  $f_U(t)$ :

$$\begin{array}{l} B_{cm}(HC, k_1)_{iB1} = \left| \begin{array}{c} (k_1)_{iB1} \\ \dots \\ (k_1)_{iBv} \\ \dots \\ (k_1)_{iBV} \end{array} \right| \dots B_{cm}(HC, k_r)_{iBr} = \left| \begin{array}{c} (k_r)_{iB1} \\ \dots \\ (k_r)_{iBv} \\ \dots \\ (k_r)_{iBV} \end{array} \right| \dots B_{cm}(HC, k_R)_{iBR} = \left| \begin{array}{c} (k_R)_{iB1} \\ \dots \\ (k_R)_{iBv} \\ \dots \\ (k_R)_{iBV} \end{array} \right| \\ \\ B_{cm}(HC, k_{us})_{iB} = \left| \begin{array}{c} (k_{us})_{iB1} \\ \dots \\ (k_{us})_{iBv} \\ \dots \\ (k_{us})_{iBV} \end{array} \right| \end{array} \quad (2.13)$$

В даному випадку отримуємо зміни у часі розподілених по частотних смугах ПЯ ЕЕ, які показують виявлені нелінійні спотворення окремо та в сукупності, що дозволить фіксувати моменти найбільших спотворень, їх характер, перебіг та шукати ймовірні причини появи в електричних мережах.

**Висновки і перспективи подальших досліджень.** У подальшому на основі отриманої вимірювальної інформації досліджується якість електроенергії у режимах функціонування мереж, близьких до нормальних і зумовлених повільними коливаннями та нелінійними спотвореннями напруги. Завдяки

застосуванню у подальшому сучасних інформаційних технологій, наприклад пов'язаних із цифровою обробкою досліджуваних сигналів, отримують необхідний обсяг даних, що дозволяє повніше аналізувати режими роботи мереж загального призначення, виявляти причини погіршення якості електроенергії та реалізовувати потрібні дії стосовно виправлення негативних ситуацій.

### Список літератури

1. ГОСТ 13109-97. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения: введ. 01.01.2000. – К.: Держстандарт України, 1999. – 32 с.

2. ГОСТ Р 54149-2010. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения: введ. 01.01.2013. – Москва: Стандартинформ, 2012. – 19 с.

3. ГОСТ 32144-2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения: введ. 01.07.2014. – Москва.: Стандартинформ, 2014. – 19 с.

4. Ванько, В.М. Проблеми контролю якості електроенергії в електричних мережах [Опис основних методів контролю якості електроенергії в мережі] / В. М. Ванько, П. Г. Столярчук // Вимірювальна техніка та метрологія. – 2001. – 58. – С. 47-56.

5. Ванько В.М. Метод оцінки збурень напруги в електричних мережах [Основні методи контролю якості електроенергії в мережі] / В. М. Ванько // Вісник НУ «Львівська політехніка». – 2005. – 544. – С. 19-25.

6. Сегеда М.С. Електричні мережі та системи [Загальний опис методи контролю якості електроенергії в мережі] / М. С. Сегеда. – К.: Каменяр, 2006. – 296 с.

7. Ванько В.М. Організація вимірювання, аналізу та поліпшення якості електроенергії в мережах [Основні методи контролю якості електроенергії в мережі] / В. М. Ванько // Вісник Національного університету «Львівська політехніка» «Теплоенергетика. Інженерія довкілля. Автоматизація». – 2009. – 659. – С. 101-108.;

8. ГОСТ 8.010-99. Методики выполнения измерений. Основные положения: введ. 01.01.2000. – М.: Издательство стандартов, 1999. – 25с.

## References

1. GOST 13109-97. (1999). Electrical power. Electromagnetic compatibility of technical assets. Norms quality of electrical energy in electric power systems, general purpose. State Standard of Ukraine, 32.
2. GOST R 54149-2010. (2012). Electrical power. Electromagnetic compatibility of technical assets. Norms quality of electrical energy in electric power systems, general purpose. Standartynform, Moscow, 19.
3. GOST 32144-2013. (2014). Electrical power. Electromagnetic compatibility of technical assets. Norms quality of electrical energy in electric power systems, general purpose. Standartynform, Moscow, 19.
4. Vanko, V., Stolyarchuk, P. (2001). Problems of quality control in the power grids [Quality control in the power grids]. Measuring equipment and metrology, 58, 47-56.
5. Vanko, V. (2005). Valuation disturbances voltage in electrical networks [Quality control in the power grids]. Herald "Lviv Polytechnic" "Electricity and electromechanical systems", 544, 19-25.
6. Seged, M. (1999). Electrical networks and systems.331.
7. Vanko, V. (2009). Organization measurement, analysis and improvement of quality of electricity networks [Analysis of quality of electricity networks]. Bisnyk National University "Lviv Polytechnic".659. 101-108.
8. GOST 8.010-99. (1999). Methods perform measurements. Basic situation. Enter. Publishing standartov, 25.

## ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОСНОВАНИЕ МЕТОДОВ РЕАЛИЗАЦИИ ТРЕБОВАНИЙ НОРМАТИВНОГО БАЗИСА ПО КАЧЕСТВУ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

**В. М. Ванько, Н. М. Клепач**

*Аннотация.* В наше время трудно представить себе свою жизнь без электричества. В квартире, загородном доме, офисе от наличия и качества электроэнергии зависит все. К сожалению, когда электроэнергия стабильно подается в наши дома и квартиры, это еще не значит, что расчетные параметры электроэнергии именно такие, которые необходимы для питания бытовой техники и различных электроприборов, от которых напрямую зависит качество нашей жизни, а иногда и саму жизнь.

В данной работе проведен анализ проблематики исследования и контроля качества электроэнергии в сетях снабжения потребителей. Поставлены главные задачи, которые заключаются в установлении причин ухудшения качества электроэнергии и определении места появления негативного процесса в сети. Исходя из классификации видов нагрузок и потребления ими электроэнергии, предложено развитие методики выполнения измерений показателей качества электроэнергии и новые показатели, которые позволят получить дополнительную информацию для решения указанных задач.



*Ключевые слова: качество, электроэнергия, векторы качества, частотные полосы, показатели качества, дозы фликера*

## **THEORETICAL JUSTIFICATION METHODS OF REQUIREMENTS REGULATORY FRAMEWORK IN POWER QUALITY**

**V. Vanko, N. Klepach**

***Abstract.** Nowadays, it is difficult to imagine life without electricity. The apartment, country house, the office of availability and quality of electricity depends on it. Unfortunately, when electricity steadily fed into our homes and apartments, this does not mean that the design parameters of electricity is such that needed to power home appliances and various appliances on which depends our quality of life and sometimes life itself.*

*This paper analyzes the problems of research and quality control of electricity supply networks of consumers. Delivered major problems which are to establish the causes of deterioration of power quality and determining the place of occurrence of negative processes in the network. Based on the classification of loads and consumption of electricity, the proposed development of methods for measuring power quality indicators and new indicators that allow for more information to solve these problems.*

***Keywords:** quality, power, vectors quality, frequency bands quality, flicker dose*